

EUROPEAN PATENT OFFICE

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 59202176
PUBLICATION DATE : 15-11-84

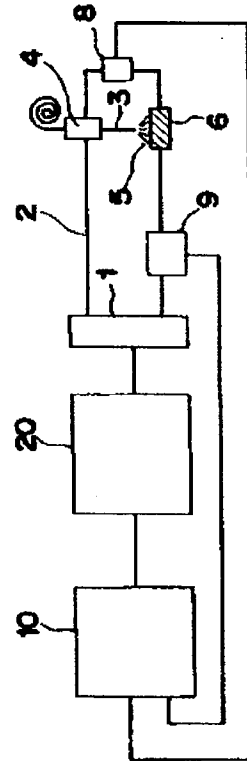
APPLICATION DATE : 02-05-83
APPLICATION NUMBER : 58077834

APPLICANT : KOBE STEEL LTD;

INVENTOR : MARUYAMA TOKUJI;

INT.CL. : B23K 9/06

TITLE : METHOD AND DEVICE FOR
CONTROLLING CURRENT FOR
SHORT CIRCUIT TRANSFER
WELDING



ABSTRACT : PURPOSE: To suppress generation of spatter by detecting necking of a droplet in the stage of a short circuit from the change in the resistance value of a welding wire and decreasing the current on the welding wire.

CONSTITUTION: A voltage detector 8 detects welding voltage and a current detects welding current. A resistance calculator 10 calculates the resistance value in the short circuiting stage between a welding wire 3 and a base material 6 by receiving the respective outputs from the detector 8 and the detector 9. A necking calculator 20 calculates the necking of the droplet by receiving the output from the calculator 10 and applies the instruction to decrease the short circuit current to a power source 1 for welding when the necking attains a certain specified value.

COPYRIGHT: (C)1984,JPO&Japio

⑬ 日本国特許庁 (JP)

⑭ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報 (A)

昭59—202176

⑮ Int. Cl.³

B 23 K 9/06

識別記号

庁内整理番号

6577—4 E

⑯ 公開 昭和59年(1984)11月15日

発明の数 2

審査請求 未請求

(全 8 頁)

⑭ 短絡移行溶接の電流制御方法および装置

横浜市戸塚区長尾台町448—5
—10

⑰ 特 願 昭58—77834

⑰ 出 願 人 株式会社神戸製鋼所

⑱ 出 願 昭58(1983)5月2日

神戸市中央区脇浜町1丁目3番
18号

⑲ 発 明 者 小笠原隆明

⑲ 代 理 人 弁理士 青山葆 外2名

横浜市戸塚区鳥が丘91—8

⑲ 発 明 者 丸山徳治

明 細 書

1. 発明の名称

短絡移行溶接の電流制御方法および装置

2. 特許請求の範囲

(1) 短絡とアークとを交互に発生する短絡移行溶接において、溶接ワイヤと母材との短絡時の溶接ワイヤと母材間の抵抗値を演算して溶滴のくびれを検出し、このくびれ検出によつて溶接ワイヤの電流を制御することを特徴とする短絡移行溶接の電流制御方法。

(2) 溶滴のくびれを溶接ワイヤの短絡時の抵抗値と短絡時の最低抵抗値とにより検出するものである特許請求の範囲第1項に記載の短絡移行溶接の電流制御方法。

(3) 溶滴のくびれを溶接ワイヤの短絡時の抵抗値と短絡時の最低抵抗値と短絡期間中の抵抗増分値とにより検出するものである特許請求の範囲第1項に記載の短絡移行溶接の電流制御方法。

(4) 短絡とアークとが交互に発生する短絡移行溶接の電源の制御装置において、溶接電圧と電流

の制御可能な溶接電源と、溶接電圧検出器と、溶接電流検出器と、前記両検出器の信号を受けて溶接ワイヤと母材間の短絡抵抗を演算する抵抗演算器と、前記抵抗演算器の出力を入力し、溶滴のくびれを演算しくびれがある一定値に達した時、溶接ワイヤの短絡電流を減少させる指示を溶接電源に与えるくびれ演算器とを備え、アーク再生の前に短絡電流を減少させることを特徴とする短絡移行溶接用電源の制御装置。

(5) 抵抗演算器が電流検出器の出力を対数化する第1の対数変換器と電圧検出器の出力を対数化する第2の対数変換器と、前記両対数変換器の出力を加減算する加減算器と、前記加減算器の出力を対数逆変換する対数逆変換器より構成した特許請求の範囲第4項に記載の制御装置。

(6) くびれ演算器が短絡抵抗の最低値を記憶する記憶器を含み、抵抗演算器と前記記憶器の出力を加減算する加減算器と、溶滴くびれ時の抵抗値を設定するくびれ抵抗設定器と、前記加減算器の出力と前記くびれ抵抗設定器の出力を比較する比

(1)

(2)

較器から構成されるものである特許請求の範囲第4項に記載の制御装置。

(7) くびれ演算器が、短絡抵抗値の最低値を記憶する記憶器と、エクステンション部における抵抗増加分を演算する抵抗増分演算器と、前記記憶器と前記抵抗増分演算器と抵抗演算器の各出力を加減算する加減算器と、溶接くびれ時の抵抗値を設定するくびれ抵抗設定器と、前記加減算器の出力と前記くびれ抵抗設定器の出力を比較する比較器より構成されるものである特許請求の範囲第4項に記載の制御装置。

(8) 抵抗増分演算器が電流検出器および電圧検出器の両出力を対数化する両対数変換器と、前記両対数変換器の両出力を加減算する加減算器と、前記加減算器の出力を対数逆変換する対数逆変換器と、前記逆変換器の出力を積分する積分器と、前記積分器の出力を増幅する増幅器とから構成されるものである特許請求の範囲第7項に記載の制御装置。

(9) くびれ抵抗設定器が、乗算器を含み、電流

(3)

たとえばWelding Research international vol.4, No.2, 1974には、大電流通電期間を短絡期の中央期間に限定させ、大電流期間中消耗電極ワイヤと母材間の電圧を検出し、アーク再生の前兆としての溶滴のくびれが発生した時の電圧を設定しておき、検出電圧がある設定電圧と等しくなった時大電流期間を終了させるようにプログラム制御してスパッタを抑制する技術が開示されている。しかしながら、前記文献にも記載されているように、実用にあつては、ワイヤ突出長の変動によつて、この部分の電圧降下が変動するため、溶滴のくびれた時の電圧が一定にならず、大電流期間の終了を指示する時期に誤差を生じ、安定してスパッタを防止することができない。

周知のようにこの種のスパッタの発生は溶接の品質を低下させ、またスパッタを除去するために煩雑な作業が必要であり、溶接の作業能率を低下させる。

この欠点を除くために、溶接ワイヤと母材間の短絡電圧 V_L を各短絡毎に記憶し、この電圧から

(5)

特開昭59-202176 (2)

検出器からの信号にある定数を乗算した値をくびれ抵抗設定器の出力信号とすることを特徴とする特許請求の範囲第6項または第7項に記載の制御装置。

3.発明の詳細な説明

〔技術分野〕

この発明は短絡移行溶接に用いる溶接電源の制御方法と装置に関する。

〔従来技術の問題点〕

ガスシールド溶接において、溶接ワイヤと母材間で短絡とアーク発生とをくり返ししながら溶接を行なう短絡移行溶接におけるスパッタの多くは、短絡が破れアーク再生する瞬間に発生し、またアーク再生時の電流が高い程大粒のスパッタが発生することも明らかになつている。ところが従来のリアクトルにより電流の上昇を遅らせるだけの定電圧電源では第1図に示すようにアーク再生時の電流が高いため非常にスパッタが多かつた。この原因に着目して、アーク再生時の電流を下げることを試みられているが、まだ実用に到っていない。

(4)

ΔV だけでもしくは ΔV と溶接ワイヤ突出部の温度上昇に伴う電圧降下分 V_N との和だけ電圧が上昇したとき溶滴のくびれが生じた点であることを利用して V_L を記憶した後の電圧 V_M から、 V_L もしくは $V_L + V_N$ を減算した差 $V_M - V_L$ もしくは $V_M - (V_L + V_N)$ が一定値になつたと溶接ワイヤに流れる電流を下げることによりスパッタを減少させる方法が提案されている。しかしこの場合、短絡電流 I_p は一定であるとしているが、これは溶接にとつて好ましいとは限らず、短絡電流を変化させた方がよい場合も考えられる。この場合には上述の提案された方法は適用できない。

発明の目的

この発明は上述の欠点を解決するためになされたものであつて、たとえば溶接ワイヤのエクステンション長の変動、短絡電流の変化、短絡時間の変化等の種々の変動があつても、アーク発生の前兆としての溶滴のくびれを正確に検知して、溶接ワイヤの電流を制御することにより、短絡時におけるスパッタの発生を有効に低減し得る溶接電源

(6)

の出力制御方法と装置とを提供することを目的とするものである。

実施例

以下にこの発明の一実施例を図面とともに説明する。

第1図において、1は溶接電圧、溶接電流の制御可能な溶接電源、2は給電ケーブル、3は図示されていないモータで供給される、消耗電極を用いた溶接ワイヤ、4はコンタクトチップ、5はアーク、6は母材、7はアースケーブルを示す。

8はコンタクトチップ4と母材6間の電圧を検出する電圧検出器、9は溶接ワイヤ3に流れる電流を検出する電流検出器である。

上記の構成において、溶接ワイヤ3は速度制御されながらコンタクトチップ4から母材6に向かって送給され、かつコンタクトチップ4からは公知のように溶接ワイヤ3を包囲するようにシールドガスが供給され、溶接ワイヤ3と母材6間で短絡とアーク発生とをくり返しながら溶接が行なわれる。

(7)

アースケーブル7の抵抗を R_5 、溶接中の全抵抗を R とすると(1)式が成立する。

$$R = \frac{V}{I} = R_A + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 \quad (1)$$

$R_1 \sim R_5$ は、溶接場所の変化、給電ケーブル長の変化、給電ケーブルの温度変化、アース端子の取付方法の変化などにより変わり、溶接中であってもエクステンションの変動によつて変わる。しかし、1回の短絡期間中には、短絡期間が $1 \text{ msec} \sim 5 \text{ msec}$ であるので一定と考えて良い。いまここで $R_B = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$ とおくと(1)式は

$$R = \frac{V}{I} = R_A + R_B \quad (2)$$

となる。ここで R_B を外的要因による抵抗と呼ぶ。よつて、電圧検出器8と電流検出器9が検出する電圧 V 、電流 I により演算される抵抗 R は R_A と R_B が加算されたものである。

ここで、従来技術の欠点は、各短絡毎に R_B が変化することにより、溶滴のくびれた時の抵抗が一定にならず、大電流期間の終了を指示する時期

(9)

第2図(イ)、(ロ)、(ハ)、(ニ)はスパッタを減少させるための溶接電圧、溶接電流、溶接中の溶接ワイヤと母材間の抵抗の変化の波形とそれに応じた溶接状態を示したものである。即ちアーク発生中(イ)から徐々にアーク長が短くなり、溶滴が母材6に接して短絡(ロ)に至る。最も溶滴が母材に強固に結合した時点(ロ)を経過後溶接ワイヤ先端部がくびれ始めた(ハ)点を経過した後溶接ワイヤ3の電流を急激に低下させ、電流が十分に低下した(ニ)点にてアーク再生ができるようにする。

ここにおいて、短絡時の電流電圧を制御してアーク再生の直前に電流を下げるために、溶接ワイヤ先端のくびれが生じた(ハ)時点を正確に検出することが最も重要である。

短絡時において、溶接ワイヤの電流が 1 (Amp) 、溶接ワイヤと母材間電圧が $V \text{ (Volt)}$ 、給電ケーブルの抵抗を R_1 、コンタクトチップと溶接ワイヤの接触抵抗を R_2 、ワイヤエクステンション中の抵抗を R_3 、溶接ワイヤ先端の溶融部分の抵抗を R_A 、母材とアース端子部の接触抵抗 R_4 、ア

(8)

に誤差を生じ、安定してスパッタを除去することができない点にある。

そこで、本発明は、外的要因抵抗 R_B の変動を取り除き溶接ワイヤ先端のくびれの抵抗変化分だけを取り出せるようにしたものである。第2図において短絡期間中の最低抵抗を示す t_1 時点の抵抗 R_L 、くびれが発生する t_2 時点の抵抗を R_M とすると

$$R_L = R_{AL} + R_{BL} \quad (3)$$

$$R_M = R_{AM} + R_{BM} \quad (4)$$

と表現でき、 $\Delta R = R_M - R_L$ とすると

$$\Delta R = R_M - R_L = (R_{AM} - R_{AL}) + (R_{BM} - R_{BL}) \quad (5)$$

である。 R_{BM} と R_{BL} は給電ケーブルやワイヤエクステンションに左右される抵抗であるが、 t_1 時点の抵抗 R_{BL} と t_2 時点の抵抗 R_{BM} は、

t_1 と t_2 の間隔 $\Delta t = t_2 - t_1$ が非常に短い。すなわち、短絡期間が $1 \text{ msec} \sim 5 \text{ msec}$ であるので $0.5 \text{ msec} \sim 2.5 \text{ msec}$ 程度であり、この短時間のうちに R_B は変化することなく、1回の

(10)

絡
短絡期間中には R_B は変化することではなく、1回の短絡期間中には $R_B = \text{const}$ であり、従つて、

$$R_{BL} = R_{BM} \quad \text{とすることができ、(5)式は}$$

$$\Delta R = R_M - R_L = R_{AM} - R_{AL} \quad (6)$$

となる。(6)式は、11時点すなわち第2図(c)のワイヤ溶融端の抵抗値と12時点すなわち第2図(d)のワイヤ溶融端にくびれが生じた時の抵抗値の差が ΔR であり、この ΔR は電圧検出器と電流検出器の各出力から演算される R_M と R_L の差であることを意味している。従つて短絡期間中の R_L を記憶しておき、その後の抵抗 R_M との差がある設定値 ΔR になった時に、大電流期間の終了点とし、電流を下げるように電源を駆動すれば、第2図(3)に示すように14時点前に電流を下げることで、スパッタ発生を防止し得る。

溶接中にエクステンション長が変化したり、溶接場所が変わつたりしたときに R_B が変化し、第2図(3)に示すように抵抗特性が変わつた場合は、(7)式が成立し

$$\Delta R' = R_M' - R_L' = (R_{AM}' - R_{AL}') + (R_{BM} - R_{BL}) \quad (7)$$

発生時の抵抗 R_M と短絡期間中の最低抵抗 R_L を求めその差が設定された ΔR 値と等しくなる時を大電流期間の終了とする制御によれば、溶接ワイヤのエクステンション等の変化による外部的要因の抵抗分を取り除き、ワイヤ先端溶融部の電圧降下分だけを取り出してフィードバックできるので、スパッタが安定して減少する。しかし、実験によると完全にスパッタがなくなるところまでは至らず、時々スパッタが発生している。このスパッタが発生している時の状態を詳細に検討すると、溶接ワイヤ先端のくびれが生じた時点(d)の検出がまだ正確でなく、何かの要因で変動していることが明らかになり、ワイヤ送給速度の変動や、溶融池の振動などにより、短絡時間に変化が生じた時に溶接ワイヤ先端のくびれが生じた時点(d)の検出に誤差が生じていることが判明した。くびれの有無による抵抗変化 ΔR の他に第3図に示すように短絡時間 t に比例して、抵抗値がほぼ直線的に、またはゆるやかな指数曲線的に増加して行くことがわかった。この要因となるものは、短絡中の溶接

(13)

ここにおいても、前述の理由から一回の短絡期間中には $R_{BM} = R_{BL}$ であるから

$$\Delta R' = R_M' - R_L' = R_{AM}' - R_{AL}' \quad (8)$$

R_{AL}' 、 R_{AM}' はそれぞれ第2図(c)と(d)の状態のワイヤ先端の溶融部の抵抗であるから、(5)式、(6)式の場合と同じ値をとり、 $R_{AL}' = R_{AL}$ 、 $R_{AM}' = R_{AM}$ となるので(8)式は

$$\Delta R' = R_M' - R_L' = R_{AM}' - R_{AL}' = R_{AM} - R_{AL} = \Delta R \quad (9)$$

となる。(9)式は $\Delta R' = \Delta R$ であり、 ΔR は常に変化せず、 $\Delta R'$ すなわち ΔR は $R_M - R_L$ と等しいことを意味する。

R_M と R_L の差が $\Delta R'$ ($=\Delta R$)と等しくなる時点は、第2図(3)に示す12時点であり、前記の実線の場合の条件と同時点で、大電流期間の終了を電源に指示することによつて、溶接ワイヤの電流を低下させ第2図(2)の破線ではなく実線の電流となり、14前に電流が低下するのでスパッタは発生しにくい。

上記に説明したように、1短絡期間毎にくびれ

(12)

ワイヤ突出部 ℓ の抵抗が短絡期間中に増加しているものであることがわかった。この溶接ワイヤ突出部の抵抗変化は、短絡電流によりワイヤ突出部の温度が上昇し、鋼は温度が上昇すると抵抗が増加するために起こるものであり、下式にて表現される。

$$\Delta R_N = \beta \cdot R \cdot \frac{I_p^2 \cdot dt}{J \rho C (\frac{\pi}{4} d^2) 2} \quad (10)$$

ここで、 ΔR_N :抵抗変化 β :温度による抵抗変化率 R :短絡直後の抵抗
 I_p :短絡電流 J :4.2(定数) ρ :密度

C :比熱 d :ワイヤ径

いま、溶接ワイヤ径は一定なので、 $\frac{\beta}{J \rho C (\frac{\pi}{4} d^2) 2} = k$

$$(\text{const}) \text{と} \text{おくと、} \Delta R_N = k R I_p^2 dt = k v I_p dt$$

と表わされる。短絡後 t 時間後の溶接ワイヤ突出部における抵抗変化 R_N は、 $R_N = \int_0^t k v I_p dt$ と表わせる。従つて短絡が発生し、第2図(c)の状態になつたときの抵抗 R_L を記憶し、その後の抵抗 R_M から R_L と R_N を減算した差すなわち、 $\{R_M - (R_L + R_N)\}$ が ΔR (一定)になつた時が

(14)

溶接ワイヤ端のくびれが生じた時であり、このとき電流を下げることにより、さらに確実にスパッタを減少させることができる。

第3図を用いて実施例を説明する。(2)はワイヤ送給速度の変動や溶融池の振動などの要因で短絡時間が(1)に比べて長くなった時であるが、

$R_M - (R_L + R_N) = R_{M2} - (R_{L2} + \int_0^{t_2} k v I_p^2 dt) = \Delta R$ の時に電流を低下させることでスパッタの減少が安定して得られた。

(3)はワイヤ突出長 l が(1)に比べて長い場合で、 $R_{L3} > R_{L1}$ 、 $R_{N3} = \int_0^{t_1} k v I_p dt$ であるがやはり、 $R_M - (R_L + R_N) = R_{M2} - (R_{L2} + \int_0^{t_1} k v I_p dt) = \Delta V(\text{const})$ の時に電流を低下させれば、同様に好結果が得られる。

上述のように、溶接ワイヤのエクステンションの短絡後の発熱による抵抗上昇分を短絡時の電圧 V と電流 I_p との値を積分してある定数を乗算した値として求めることにより、この上昇分を除去してワイヤ先端のくびれによつて生じる抵抗 ΔR を正確に把握することができるため、スパッタを

(5)

ものである。

抵抗演算器10は、第5図に示すように、電圧検出器8の出力を受けて電圧 V を $\log|v|$ として対数化する対数変換器11、電流検出器9の出力を受けて短絡電流 I_p を $\log|I_p|$ として対数化する対数変換器12、前記両変換器の各出力を受けて、短絡時の抵抗値を $\log|R| = \log|v| - \log|I_p|$ により演算する加減算器13と、加減算器13で演算された抵抗値($\log|R|$)を対数逆変換(R)する対数逆変換器14で構成される。

ここで抵抗演算器は市販の除算器を用いて V/I_p を演算させても良い。くびれ演算器は第6図に示す。抵抗増分演算器22は、その具体例をさらに第7図に示すように、電圧検出器8、電流検出器9の各出力を受けてそれぞれ対数変換器31、対数変換器32で対数化し、 $\log|v|$ 、 $\log|I_p|$ を求める。ここで、抵抗演算器10に含まれる対数変換器11、対数変換器12の出力結果を用いてもよいことは言うまでもない。両対数変換器31、32から出力される $\log|v|$ 、 $\log|I_p|$ を

(6)

減少させる効果が得られるばかりでなく、大粒のスパッタによるアーク長の変動がなくなり、ビードが均一で、溶け込みも安定した美しいビードが得られるようになった。具体的には、従来の市販電源では、150Aの溶接電流時にノズルに付着するスパッタ量は0.15g/min程度であつたものが本発明の制御方法によれば0.07g/minと $\frac{1}{2}$ 程度まで減少でき、ノズルに付着しないので外に飛散する大粒のスパッタは $\frac{1}{4}$ 程度まで減少した。

以下に上述の方法を具体化する装置について説明する。なお第4図には第1図と同じ部分には同一の符号を付した。

第4図において、電圧検出器8は、溶接電圧を検出し、電流検出器9は、溶接電流を検出する。抵抗演算器10は、電圧検出器8と電流検出器の各出力を受けて、溶接ワイヤ3と母材6間の短絡時の抵抗値を演算するものである。くびれ演算器20は、抵抗演算器10の出力を受け、溶滴のくびれを演算し、くびれがある一定値に達したとき、短絡電流を減少させる指示を溶接電源1に与える

(7)

加減算器33に入力し、 $\log|v| + \log|I_p| = \log|v| + \log|I_p|$ を演算する。次に、加減算器33で演算された結果を対数逆変換器34に入力し、 $\log|v| + \log|I_p|$ を $V \cdot I_p$ に逆変換する($V \cdot I_p$ を求めるには、市販の乗算器を用いても良い。)積分器35は、逆変換された $V \cdot I_p$ を時間について積分 $\int_0^t V \cdot I_p dt$ を行ない、この積分値を出す。積分器35によつて積分された結果 $\int_0^t V \cdot I_p dt$ は増幅器36に入力され、ここで k 倍(k は定数) $\int_0^t k V \cdot I_p dt = R_N$ を得る。次に第6図のくびれ演算器20について説明すると、記憶器21は溶接ワイヤの短絡後の最低抵抗値を記憶し、再アークの発生もしくは、比較器25が出力回路に対し、短絡電流を減少させるように指示を出した時、電圧検出器8、電流検出器9または、比較器25の各信号により、記憶が消去されるようになっている。加減算器23は、記憶器21、抵抗演算器10、抵抗増分演算器22の各出力を受け $R_M - (R_L + R_N)$ の演算を行う。

くびれ抵抗値設定器24は可変抵抗と演算増幅

(8)

器とにより構成され、任意の溶接電流に応じて溶滴のくびれ時のくびれ抵抗値 dR を設定できるようになっている。

一方、比較器 25 は加減算器 23 の出力とくびれ抵抗値設定器 24 の出力 dR とを比較し、 $R_M - (R_L + R_N) = dR$ となつたとき、溶接電源 1 に対して短絡電流 I_p を減少させる指示を表わす信号を出力する。なお、溶接ワイヤ突出部の温度上昇による抵抗変化を考慮しない場合は、抵抗増分演算器 22 を取り除き、これに対する入力、またこれからの出力を除けば同様に考えられる。

このように構成することにより、前述の演算法によりアーク再生の前徴である溶滴のくびれを正確に検出でき、この溶滴のくびれ検出に従つて溶接ワイヤ 3 の電流を低減することにより、アーク再生時のスパッタを減少させ、ひいては短絡移行溶接時のスパッタを減少させることができるため、スパッタに帰因する様々な障害を軽減することができるので工業的に有益である。

(19)

詳細な回路図、第 7 図は第 5 図に示した抵抗演算器に用いられる抵抗増分演算器の詳細な回路図、第 8 図はくびれ抵抗値設定器の一例を示す回路図である。

1…溶接電源、 3…溶接ワイヤ、 6…母材、
8…電圧検出器、9…電流検出器、10…抵抗演算器、20…くびれ演算器

特許出願人 株式会社 神戸製鋼所

代理人 弁理士 青山 葆 外 2 名

発明の効果

以上詳述したように、この発明は短絡移行溶接において、短絡時の溶滴のくびれを溶接ワイヤの抵抗値の変化により検出して溶接ワイヤの電流を低減することによりスパッタを減少させるものにおいて溶接ワイヤへの配線等による外的要因による抵抗分を除いた抵抗値の変化を検出するようにしたものであるから、溶滴のくびれの時期を極めて正確に検出でき、したがってスパッタの発生を効果的に抑止することができる。

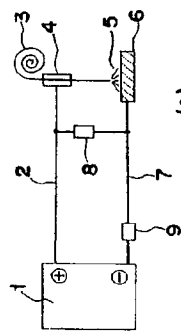
4. 図面の簡単な説明

第 1 図は短絡移行溶接に用いる装置の概略を示す回路図、第 2 図は短絡移行過程とこれに対応する溶接電圧と溶接電流および溶接ワイヤと母材間の抵抗の変化を併せて示す図、第 3 図はこの発明の制御方法の概略の電圧、電流および抵抗の変化を示す図、第 4 図は第 3 図の制御方法に用いる制御装置を示す回路図、第 5 図は第 4 図の制御装置に用いられる抵抗演算器の詳細な回路図、第 6 図は第 4 図の制御装置に用いられるくびれ演算器の

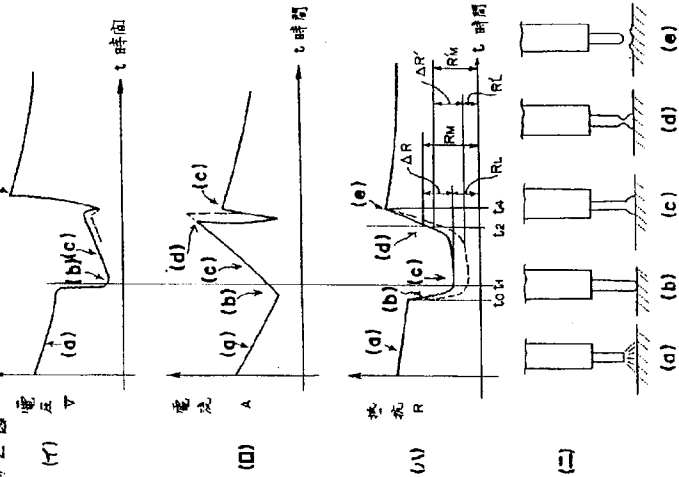
(20)

(21)

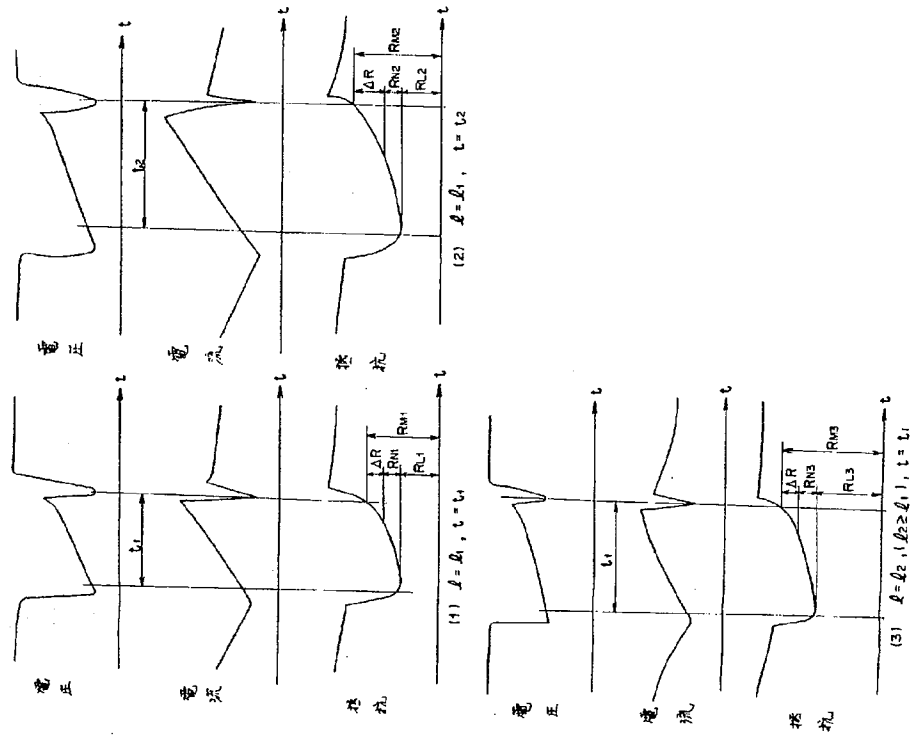
第1圖



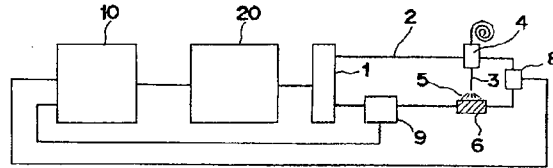
第2圖



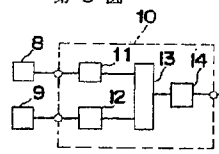
第3圖



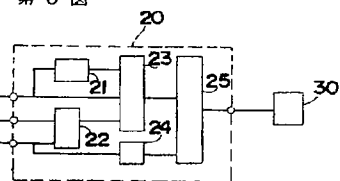
第 4 図



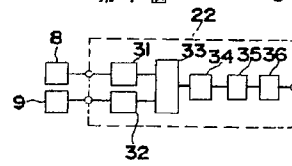
第 5 図



第 6 図



第 7 図



第 8 図

